

amplified by the EDF 14 and output from a port C of the circulator 10 via the optical coupler 12 and via the port B of the circulator. Light, transmitted through the reflector 16, is directed into an EDF 22 via an optical isolator 18 and a WDM optical coupler 20, and the optical coupler 20 supplies an EDF 22 with the excitation light from an excitation LD 32. The EDF 22 amplifies the excitation light and the signal light SL from C-band light received from the optical isolator 18. An optical circulator 28 and a C-band reflector 26 combine the amplified signal light SC and signal light SL.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-261363

(P2002-261363A)

(43) 公開日 平成14年9月13日 (2002.9.13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
H 0 1 S 3/10		H 0 1 S 3/10	Z 5 F 0 7 2
3/06		3/06	B 5 K 0 0 2
3/094		3/094	S
H 0 4 B 10/00		H 0 4 B 9/00	Z
H 0 4 J 14/00			E

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-60772(P2001-60772)

(22) 出願日 平成13年3月5日 (2001.3.5)

(71) 出願人 300053656

ファイバーラボ株式会社

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号

(72) 発明者 三村 榮紀

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号株式会

社ケイディディファイラボ内

(72) 発明者 須藤 智美

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号株式会

社ケイディディファイラボ内

(74) 代理人 100090284

弁理士 田中 常雄

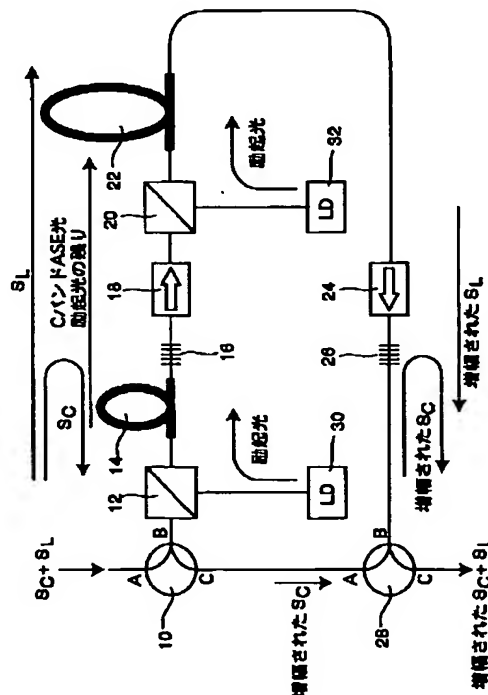
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 CバンドとLバンドを効率良く増幅する。

【解決手段】 Cバンド信号光Sc及びLバンド信号光SLが、光サーキュレータ10のポートA、BとWDM光カップラ12を介してEDF14に入力する。光カップラ12は、励起LD30からの励起光をEDF14に供給する。EDF14はその励起光により励起されて、Cバンド信号光Scを増幅し、CバンドASE光を発生する。反射器16は信号光ScとCバンドASE光のほとんどを反射し、その残りと信号光SLを透過する。信号光Scは再びEDF14で増幅され、光カップラ12と光サーキュレータ10のポートBを介してそのポートCから出力される。反射器16の透過光は、光アイソレータ18とWDM光カップラ20を介してEDF22に入射し、光カップラ20は励起LD32からの励起光をEDF22に供給する。EDF22は、その励起光と光アイソレータ18からのCバンド光により信号光SLを増幅する。光サーキュレータ28とCバンド反射器26が、増幅された信号光Scと信号光SLを合波する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1バンド(C)の信号光(S_c)と第2バンド(L)の信号光(S_L)を含む入力信号光を光増幅する光増幅器であって、当該第1バンド(C)の信号光を増幅自在な第1の光増幅媒体(14)と、当該第1バンド(C)より長波長の第2バンド(L)の信号光を増幅自在な第2の光増幅媒体(22)と、当該第1の光増幅媒体(14)と当該第2の光増幅媒体(22)との間に配置され、当該第1バンドの光を100%未満の反射率で反射する第1反射器(16)と、第1、第2及び第3のポートを具備する第1の光サーキュレータ(10)であって、当該第1のポートに入力する当該入力信号光を当該第2のポートから当該第1の光増幅媒体(14)に転送し、当該第1の光増幅媒体(14)から当該第2のポートに入力する光を当該第3のポートから出力する第1の光サーキュレータ(10)と、励起光を出力する励起光源(30)と、当該励起光源(30)の出力する励起光を、当該第1の光サーキュレータ(10)の第2ポートと当該第1の光増幅媒体(14)との間から当該第1の光増幅媒体に供給する励起光導入器と、当該第2の増幅媒体で増幅された当該第2バンドの信号光と、当該第1の光サーキュレータ(10)の当該第3ポートから出力される増幅された当該第1バンドの信号光を合波する合波器とを具備することを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 更に、第2の励起光を出力する第2の励起光源(32)と、当該第2の励起光を、当該第1反射器(16)と当該第2の光増幅媒体(22)との間から当該第2の光増幅媒体(22)に供給する第2の励起光導入器とを具備する請求項1に記載の光増幅器。

【請求項3】 当該合波器が、第1バンドの光を100%反射する第2反射器(26)と、第1、第2及び第3ポートを具備する第2の光サーキュレータであって、当該第1ポートに当該第1光サーキュレータ(10)の第3ポートが接続し、当該第2ポートに当該第2反射器(26)を介して当該第2の増幅媒体で増幅される当該第2バンドの信号光が入力する第2の光サーキュレータとからなる請求項1に記載の光増幅器。

【請求項4】 当該第1バンドがCバンドであり、当該第2バンドがLバンドである請求項1に記載の光増幅器。

【請求項5】 当該励起光源(30)は、当該第1の光増幅媒体(14)の全長に亘り当該第1の励起光が存在するほどの光パワーで当該第1の励起光を出力する請求項1に記載の光増幅器。

【請求項6】 当該第1反射器(16)が、当該第1の励起光を透過する請求項1に記載の光増幅器。

【請求項7】 当該第1の光増幅媒体(14)が当該励

起光の下で当該第2バンドに対して正の利得を具備する請求項5に記載の光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光増幅器に関し、より具体的には、Cバンド及びLバンドを光増幅する光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重光伝送の分野では、従来のCバンド(1.52~1.57 μ m帯)に加えて、Lバンド(1.57~1.60 μ m帯)の利用が検討されている。そのような広帯域光増幅器として、Cバンド光増幅器とLバンド光増幅器を並列に配置する構成が、米国特許第6049417号公報及び第6049418号公報に記載されている。即ち、その広帯域光増幅器では、光サーキュレータ及びCバンドの反射器により、入射光をCバンドとLバンドに分け、それぞれを別個に光増幅した後に、光サーキュレータ及びCバンドの反射器により合波する。また、光サーキュレータ及び反射器の代わりに、CバンドとLバンドを分離する分波フィルタを使用する構成も知られている。

【0003】また、Cバンド増幅用のエルビウム添加光ファイバ(EDF)、Cバンドの100%反射器、Lバンド増幅用EDF、及びCバンド及びLバンドの100%反射器をシリアルに配置し、Cバンドの信号光にCバンド増幅用EDFを往復させ、Lバンドの信号光にCバンド増幅用EDF及びLバンド増幅用EDFを往復させるようにした反射型の構成も、知られている(特開2000-58953公報)。

【0004】現在、一般的に使用されているLバンド光増幅器の構成は、EDF長が一桁程度、長いのを除き、Cバンド光増幅器と同じである。すなわち、Lバンド光増幅器は、Cバンドの場合よりも長いEDF、1480nm又は980nm帯励起LD、励起光を合波するためのWDMカップラ、及び戻り光を防ぐための光アイソレータからなる。

【0005】初期には、励起光源として1550nm帯LDを使用するLバンド光増幅器が提案された(例えば、J. F. Massicott, J. Armitage, R. Wyatt, B. J. Ainslie and S. P. Craig-Ryan, "High gain, broadband, 1.6 μ m Er^{3+} doped Silica fiber amplifier", Electron. Lett., 1990, 26, No. 20, 1645-1646)。

【0006】また、雑音指数を改善する目的で、1550nmと1480nmの2波長で励起する構成も提案された(例えば、J. F. Massicott, R. Wyatt, and B. J. Ainsli

e, "Low noise operation of Er^{3+} doped Silica fiber amplifier around $1.6\mu\text{m}$ ", Electron. Lett., 1992, 28, No. 20, 1924-1925).

【0007】 1550nm 帯LDを使用するLバンド光増幅器では、以下の問題点がある。すなわち、 1550nm 励起は、 1480nm 又は 980nm 励起より利得効率が高い反面、雑音指数が大きいという問題がある。コスト及び信頼性の面でも、Cバンド光増幅器の励起光源として普及している 1480nm 又は 980nm 帯LDを使う方が有利である。これらの観点から、 1550nm 帯LDを励起光源とするLバンド光増幅器は、現在では使用されていない。

【0008】2波長励起の構成では、 1480nm 励起と同程度まで雑音指数を改善できる。しかし、一般に市販されていない 1550nm LDが必要なこと、2種類のLDを使用するので構造が複雑化し、高コストになることから、単一波長励起に代わる程のメリットがないと評価され、実用化されていない。

【0009】また、2波長励起の実験は石英EDF（以下、EDSFと称す。）では行われているが、フッ化物EDF（以下EDFFと称す。）では行われていない。フッ化物EDFについては、H. Ono, M. Yamada and Y. Ohishi, "Gain-flattened Er^{3+} -doped fiber amplifier for a WDM signal in the $1.57\text{--}1.60\mu\text{m}$ wavelength region", IEEE Photonics Techn. Lett., 1997, 9, No. 5, 596-598、及び、H. Ono, M. Yamada T. Kanamori, S. Sudo and Y. Ohishi, "1.58 μm band fluoride-based Er^{3+} -doped fiber amplifier for WDM transmission systems", Electron. Lett., 1997, 33, No. 17, 1471-1472を参照されたい。

【0010】EDFFを使用する場合、帯域が 5nm 拡がって $1565\text{--}1600\text{nm}$ となることが報告されている(H. Ono, M. Yamada, T. Kanamori, S. Sudo and Y. Ohishi, "1.58 μm band fluoride-based Er^{3+} -doped fiber amplifier for WDM transmission systems", Electron. Lett., 1997, 33, No. 17, 1471-1472)。

【0011】 980nm 励起では、 1480nm 励起よ

り 0.3dB 程度、雑音指数が改善し、結果として雑音指数 5.0dB を実現したとする報告がある(H. Ono, M. Yamada, S. Sudo and Y. Ohishi, "1.58 μm band Er^{3+} -doped fiber amplifier pumped in the 0.98 and $1.48\mu\text{m}$ bands", Electron. Lett., 1997, 33, No. 10, 876-877)。

【0012】2段の光増幅器をシリアルに接続して低雑音化及び広帯域化する構成も提案されている。例えば、前段の光増幅器として 980nm 励起のEDSFを使用し、後段の光増幅器として 1480nm 励起のEDSFを使用する場合で、ゲイン 32.8dB 、雑音指数 5.0dB 及び増幅帯域 30nm が実現されている。前段の光増幅器として 980nm 励起のEDSFを使用し、後段の光増幅器として 1480nm 励起のEDFFを使用する場合で、ゲイン 25.0 、雑音指数 5.1dB 及び増幅帯域 35nm が実現されている。また、前段の光増幅器として 980nm 励起のEDSFを使用し、後段の光増幅器として 1480nm 励起のEDSFを使用する場合で、各EDSFの長さを最適に調節することにより、ゲイン 20dB 、雑音指数 5dB 及び増幅帯域 70nm の広帯域増幅器が得られている。例えば、M. Yamada, H. Ono and Y. Ohishi, "low-noise, broadband Er^{3+} -doped silica fiber amplifiers", Electron. Lett., 1998, 34, No. 15, 1490-1491を参照されたい。

【0013】更に、光アイソレータを介して2本のEDSFを接続し、その2つのEDSFを双方向励起する構成で、ゲイン 30dB 、雑音指数 6dB 以上及び増幅帯域 47nm が得られている(H. Sawada, M. Yoshida, K. Imamura and Y. Imada, "Broadband and gain-flattened erbium-doped fiber amplifier with +20 dBm output power for 1580nm band amplification", ECOC'99, 26-30 September, 1999, Nice, France)。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】Cバンドの光増幅パスとLバンドの光増幅パスを個別に設ける従来例では、多くの光素子が必要になるだけでなく、装置規模も大きくなってしまふ。それは、CバンドとLバンドの違いがあるものの、各光増幅パス毎に同じ構成の光増幅器を配置する必要があるからである。

【0015】原理的に、Lバンド増幅用のEDFは、C

バンド増幅用のEDFに比べて3乃至4倍、長くする必要がある。それは、Lバンド増幅用EDFでは、0.98 μm 又は1.48 μm 帯の励起光がCバンドを励起し、そのCバンドがLバンドを励起し、その結果としてLバンド信号光が増幅されるという2段階の励起構造をとるからである。EDFはその構造上、非線形効果、波長分散及び偏波モード分散の何れについて高い値を有するので、伝送特性を悪化させる大きな要因ともなる。この点で、EDFは可能な限り短いのが望ましい。しかし、Cバンドの光増幅パスとLバンドの光増幅パスを個別に設ける従来例では、光増幅ファイバの短縮化は困難である。また、励起効率の改善が難しい。

【0016】Cバンド増幅用EDFとLバンド増幅用EDFをシリアルに配置し、反射式でCバンドとLバンドを増幅する従来例では、励起光源をCバンド光増幅ファイバとLバンド光増幅ファイバに対して共用できる。しかし、1ライン上に2つの反射器があり、複数の接続点が存在するので、それらの間のラウンドトリップによりレーザ発振しやすい。これは、利得を上げにくいことを意味する。換言すると、信号光が一方にのみ進行するワンパス型の光増幅器は、利得を上げてもレーザ発振しにくいことになり、信頼性が高い。

【0017】反射式の従来例では、少ない部品点数で効率良くCバンド信号光とLバンド信号光の両方を増幅できる。しかし、Lバンド光増幅器は、Cバンド光増幅器に比べて、利得が小さく、雑音指数が大きい。実際に使用するには、励起効率及び利得を増大し、増幅帯域を広くし、雑音指数を低減することが望まれる。

【0018】本発明は、より少ない部品点数で実現できる広帯域の光増幅器を提示することを目的とする。

【0019】本発明はまた、より高い効率でCバンド及びLバンドを増幅できる光増幅器を提示することを目的とする。

【0020】本発明はまた、高利得・低雑音・広増幅帯域の広帯域光増幅器を提示することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光増幅器は、第1バンド(C)の信号光(S_c)と第2バンド(L)の信号光(S_L)を含む入力信号光を増幅する光増幅器であって、当該第1バンド(C)の信号光を増幅自在な第1の光増幅媒体(14)と、当該第1バンド(C)より長波長の第2バンド(L)の信号光を増幅自在な第2の光増幅媒体(22)と、当該第1の光増幅媒体(14)と当該第2の光増幅媒体(22)との間に配置され、当該第1バンドの光を100%未満の反射率で反射する第1反射器(16)と、第1、第2及び第3のポートを具備する第1の光サーキュレータ(10)であって、当該第1のポートに入力する当該入力信号光を当該第2のポートから当該第1の光増幅媒体(14)に転送し、当該第1の光増幅媒体(14)から当該第2のポ

ートに入力する光を当該第3のポートから出力する第1の光サーキュレータ(10)と、励起光を出力する励起光源(30)と、当該励起光源(30)の出力する励起光を、当該第1の光サーキュレータ(10)の第2ポートと当該第1の光増幅媒体(14)との間から当該第1の光増幅媒体に供給する励起光導入器と、当該第2の増幅媒体で増幅された当該第2バンドの信号光と、当該第1の光サーキュレータ(10)の当該第3ポートから出力される増幅された当該第1バンドの信号光を合波する合波器とを具備することを特徴とする。

【0022】このような構成により、反射率100%未満の反射器が第1の光増幅媒体からの第1バンド光及び/又は励起光を部分的に透過し、それが第2の光増幅媒体に入射することで、第2の光増幅媒体における第2バンドの利得及び雑音指数を改善できる。第1の光増幅媒体は、往復で第1のバンドの信号光を増幅するので、短くできる。これらの結果、小型で高効率の2バンド光増幅器を実現できる。

【0023】本発明に係る光増幅器は、更に、第2の励起光を出力する第2の励起光源(32)と、当該第2の励起光を、当該第1反射器(16)と当該第2の光増幅媒体(22)との間から当該第2の光増幅媒体(22)に供給する第2の励起光導入器とを具備するのが好ましい。これにより、第1の光増幅媒体と第2の光増幅媒体とで、それぞれに適した波長の励起光を使用でき、第1の光増幅媒体と第2の光増幅媒体の選択範囲が広がり、組み合わせの自由度が増す。

【0024】当該合波器は、例えば、第1バンドの光を100%反射する第2反射器(26)と、第1、第2及び第3ポートを具備する第2の光サーキュレータであって、当該第1ポートに当該第1光サーキュレータ(10)の第3ポートが接続し、当該第2ポートに当該第2反射器(26)を介して当該第2の増幅媒体で増幅される当該第2バンドの信号光が入力する第2の光サーキュレータとからなる。このような構成により、第2の光増幅媒体で発生する第1バンドのASE光などが最終的な出力光に混入するのを防止できる。

【0025】例えば、第1バンドがCバンドであり、第2バンドがLバンドである。

【0026】好ましくは、当該励起光源(30)が、当該第1の光増幅媒体(14)の全長に亘り当該第1の励起光が存在するほどの光パワーで当該第1の励起光を出力する。これにより、第1の光増幅媒体は第2バンドに対する損失を低減するか、第2のバンドに対する正の利得を持つことができる。

【0027】好ましくは、第1反射器(16)が、当該第1の励起光を透過する。これにより、第2の光増幅媒体の励起に第1の励起光を活用できる。

【0028】好ましくは、当該第1の光増幅媒体(14)が当該励起光の下で当該第2バンドに対して正の利

得を具備する。これにより、第2バンドに対する利得が増大し、第2バンドに対する雑音指数が低下する。

【0029】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0030】図1は、本発明の一実施例の概略構成ブロック図を示す。光増幅すべきCバンドの信号光Sc及びLバンドの信号光SLが、3ポートA、B、Cを有する光サーキュレータ10のポートAに入力する。光サーキュレータ10は、ポートAの入力光をポートBから出力し、ポートBの入力光をポートCから出力する光素子である。

【0031】光サーキュレータ10のポートBは、WDM光カップラ12、Cバンド増幅に適した長さ及びEr添加量のエルビウムドープ光ファイバ(EDF)14、反射率が100%未満のCバンド反射器16、光アイソレータ18、WDM光カップラ20、Lバンド増幅に適した長さ及びEr添加量のEDF22、光アイソレータ24、並びに、反射率が100%のCバンド反射器26を介して、3ポートA、B、Cを具備する光サーキュレータ28のポートBに接続する。光サーキュレータ10のポートCは光サーキュレータ28のポートAに接続する。

【0032】WDM光カップラ12は、光サーキュレータ10のポートBからの光に、励起レーザダイオード(LD)30の出力する励起光を合波して、EDF14に供給する。WDM光カップラ20は、光アイソレータ18から出力される光に、励起LD32の出力する励起光を合波して、EDF22に供給する。励起LD30の出力波長は、EDF14のベースとなる光ファイバが石英ファイバの場合、980nm又は1480nmであり、フッ化物光ファイバである場合、1480nmである。同様に、励起LD32の出力波長は、EDF22のベースとなる光ファイバが石英ファイバの場合、980nm又は1480nmであり、フッ化物光ファイバである場合、1480nmである。詳細は後述するが、励起LD30の出力波長が980nmの場合、光アイソレータ18及びWDM光カップラ20は980nmをEDF22に向けて通過できるのが望ましい。

【0033】光アイソレータ18、24は、不要なレーザ発振を防ぐために、信号光とは逆方向に伝搬する反射光及び後方散乱光を抑制する向きに配置されている。即ち、光アイソレータ18、24は、光サーキュレータ10のポートBから光サーキュレータ28のポートBに向かう光伝搬方向を許容する向きに配置されている。特に、光アイソレータ24は、反射器26により反射されるCバンド成分がEDF22に再入射するのを防止する。実験の結果、光アイソレータ24を設けることで、Lバンドの利得の改善効果が見られた。

【0034】以下、本実施例の動作を詳細に説明する。

Cバンドの信号光Sc及びLバンドの信号光SLが、光サーキュレータ10のポートAに入力し、ポートBからWDM光カップラ12に入力する。WDM光カップラ12には、励起LD30の出力する励起光が入力しているので、WDM光カップラ12は、光サーキュレータ10のポートBからの光(Cバンド信号光Sc及びLバンド信号光SL)と励起LD30からの励起光を合波して、EDF14に供給する。

【0035】EDF14は、励起LD30からの励起光により励起されて、Cバンド信号光Scを増幅し、CバンドのASE光を発生する。励起LD30からの励起光がEDF14の全域にわたり存在する程に強いものである場合、EDF14は、後述するように、Lバンド信号光SLを僅かに増幅する。EDF14は、Lバンド信号光SLを減衰させなければよいが、後述するように、Lバンド信号光SLを僅かに増幅することで、全体のLバンド増幅の雑音指数を低減できる。

【0036】EDF14で増幅されたCバンド信号光Scを増幅し、発生するCバンドASE光及び僅かに増幅されたLバンド信号光SLはCバンド反射器16に入射する。Cバンド反射器16のCバンド反射率は100%未満(例えば、90%)に設定されているので、EDF14で増幅されたCバンド信号光Sc及びEDF14で発生するCバンドASE光はほとんどが反射されてEDF14に再入射するものの、ごく一部が透過して、光アイソレータ18に入射する。EDF14から出力されるLバンド信号光SLはCバンド反射器16を無損失又は低損失で透過して、光アイソレータ18に入射する。

【0037】Cバンド反射器16で反射されたCバンド信号光信号光Scは、再び、EDF14で光増幅され、WDM光カップラ12を透過して光サーキュレータ10のポートBに入射する。光サーキュレータ10はポートBに入射する光をポートCから出力するので、結局、EDF14の両方向伝搬により光増幅されたCバンド信号光Scは、光サーキュレータ28のポートAに入射し、そのポートBから出力され、反射器26により前反射され、再び光サーキュレータ28のポートBに再入射し、そのCポートから出力される。

【0038】光アイソレータ18は、反射器16を透過した光(EDF14で増幅されたCバンド信号光Sc及びEDF14で発生するCバンドASE光の一部、並びにLバンド信号光SL)を無損失又は低損失で透過し、WDM光カップラ20に入射する。WDM光カップラ20は、光アイソレータ18からの光に励起LD32からの励起光を合波して、EDF22に入射する。

【0039】補助光としてEDF22が必要とするCバンド光のパワーは、後述するように、-30dBm以上、せいぜい-1dBmでよいので、反射器16の反射率は90%程度でよい。

【0040】後述する原理に基づき、EDF22は、励

起LD32からの励起光により励起され、反射器16を透過したCバンド信号光Sc及びEDF14で発生するCバンドASE光という補助光の下で、高利得及び低雑音でLバンド信号光SLを増幅する。励起LD32から出力される励起光は、EDF22の途中で完全にEDF22に吸収される。EDF22はLバンド信号光SLを増幅する過程でCバンドASE光を発生する。EDF22は、そのようなCバンドASE光と、増幅されたLバンド信号光SLを光アイソレータ24に向け出力する。光アイソレータ24はEDF22からの光を無損失又は低損失で透過し、Cバンド反射器26に印加する。Cバンド反射器26のCバンド反射率は100%なので、Cバンド反射器26は、増幅されたLバンド信号光SLのみを透過し、CバンドASE光を反射する。反射されたCバンドASE光は光アイソレータ24で吸収又は外部に放出される。

【0041】Cバンド反射器26を透過した増幅されたLバンド信号光SLは光アイソレータ28のポートBに入射し、そのポートCから出力される。

【0042】このようにして、光サーキュレータ28は、そのポートCから、EDF14で往復で光増幅されたCバンド信号光Scと、EDF14で僅かに増幅され、EDF22で強く増幅されたLバンド信号光SLを出力する。

【0043】本出願の発明者は、Cバンド増幅に適した短いEDFでも、十分に強い励起光を入力した場合に、Lバンドでの光増幅が生じ得ること、及び、Lバンド増幅には、Cバンド光をシード光又は補助光としてEDFに入力するのが有益であることを発見した。その内容を簡単に説明する。

【0044】Lバンド増幅のメカニズムは、図2に示すように、1.48 μ m又は0.98 μ m励起によって発生する1.5 μ m帯ASE光を再吸収することにより、Lバンドに対応する反転分布が形成されるからであると考えられている。Lバンド増幅用EDFは、長尺(例えば150m)であり、吸収係数の大きな波長の光は入射後に急速に減衰する。長尺のEDFの吸収波長特性から、1.5 μ m帯ASE光の再吸収がLバンドの増幅をもたらすと考えられる。しかし、このメカニズムでは、Lバンド帯に対し十分な反転分布が形成されないので、雑音が大きくなる。

【0045】これに対し、励起光強度を十分大きくして観測した結果、図3に示すように、Cバンド増幅と同様に、励起光の直接励起により、Lバンド増幅が生じていることを確認した。このメカニズムでは、Cバンド増幅器に劣らない雑音でLバンド増幅を実現できる可能性がある。具体的に、EDF全長に亘って励起LD光が十分に強い15m長のEDFと、励起LD光が途中で減衰消失してしまう150m長のEDFについて、ゲインと雑音指数の違いを調べた。図4は、その測定結果を示す。

縦軸は利得及び雑音指数であり、横軸は波長を示す。使用したEDFは石英ファイバにErを1000ppmドープしたものである。短尺(15m)のEDFについては、励起LD光ができるだけ長い距離、伝搬するように、コア径を小さくし、MFDとコア径の比を大きく設計した。コア径が小さいと、コア内の吸収体も少なくなり、励起光の吸収が飽和しやすくなる。その結果、励起光が遠くまで伝搬できる。

【0046】実験例では、コア径2.4 μ mの15mEDFを使用した。そのEDFの1480nmにおけるMFD/コア径比は1.93である。励起光の波長を1480nmとした。15m長EDFに対し、入射励起パワーを80mW、出射励起パワーを48mWとした。150m長EDFに対し、入射励起パワーを190mW、出射励起パワーを0mWとした。即ち、15m長EDFでは、その全長が48mW以上で強く励起されており、一方、150m長EDFでは、1480nm光は途中で減衰消失するようになっている。

【0047】図4から分かるように、15m長EDFでは、1480nm励起にもかかわらず、1540nmから1620nmの広い波長範囲に亘り5dBを切る低雑音が得られた。また、Cバンドとの比較では、小さいながら、1625nm以下の波長でゲインがプラスである。すなわち、1480nm励起であっても、EDFの全長に亘って強く励起すれば、5dB以下の低雑音で、Lバンドでのプラスゲインが得られている。一方、150m長EDFでは、ゲインは大きい、雑音指数も6dB以上と大きくなる。これは、励起光が消失するほどに長いEDFでは、図2に示すLバンド増幅のメカニズムが機能するからであると思われる。

【0048】このような測定結果に基づき、本実施例では、励起LD30の出力パワーをEDF14の全域にわたり、励起光が存在し得る程度以上に強くした。これにより、EDF14は、Lバンド信号光に対してプラスのゲインを具備すると共に、低雑音(5dB以下の雑音)となる。EDF14で吸収されなかった励起光成分は、反射器16、光アイソレータ18及びWDM光カップラ20を通過して、EDF22に入射し、ここで吸収されてLバンド信号光の増幅のための励起光として利用される。

【0049】また、EDF14が-30dBm以上のCバンド光を発生し、これをEDF22に導入するのが、Lバンド信号光に対する利得の増加と雑音の低下に有効である。Lバンドの利得係数はCバンドより低い。低ゲインであることが高雑音の一因になっている。Lバンド増幅の主要メカニズムが図2に示すように1.55 μ m帯ASE光の再吸収によるものであれば、1.55 μ m帯ASE光をより効率的に発光させればよい。そうすれば、励起効率が向上し、それがゲインを増大させると共に雑音を少なくする。1.55 μ m帯光をより効率的に

発光させるためには、発光のための刺激として外部から1.55 μ m帯光を導入すればよい。

【0050】外部から導入する光の波長に対する利得の依存性を調べた。図5は、その測定結果を示す。横軸は波長、縦軸は利得を示す。25m長の、エルビウムを添加したフッ化物ファイバを使用し、励起波長を1480nmとした。励起光と一緒に入射するCバンド光の波長として1530nm、1540nm、1545nm、1550nm、及び1560nmの各場合について利得特性と、比較のために、励起光のみの利得特性を測定した。図5から容易に理解できるように、何れの波長でも、Cバンドの補助光を外部から入射することで利得が増大している。特に、波長1530nm～1550nmが、利得の増大に有効である。

【0051】EDFの基本組成の相違、具体的には、エルビウム添加フッ化物光ファイバ(EDFF)とエルビウム添加石英光ファイバ(EDSF)の相違を確認した。図6は、EDFFを使用した場合の、雑音指数NFと利得を示す。図7は、EDSFを使用した場合の、雑音指数NFと利得を示す。何れも、波長1540nmの光を補助光としてEDFに入射した。比較のため、補助光を入射しない場合の測定結果を破線で図示してある。図6及び図7において、縦軸は利得及び雑音指数NFを示し、横軸は波長を示す。

【0052】図6で、特性曲線40は、Cバンド補助光を入射した場合の利得特性を示し、特性曲線42は、Cバンド補助光を入射した場合の雑音指数を示す。また、特性曲線44は、Cバンド補助光を入射しない場合の利得特性を示し、特性曲線46は、Cバンド補助光を入射しない場合の雑音指数を示す。図6から、Cバンド補助光を入射する場合、Cバンド補助光を入射しない場合に比べて、利得が大幅に増加し、雑音指数は、1560～1570nmの波長域で増大するものの、Lバンドである1570～1600nmの波長域では、ほとんど異なることが分かる。

【0053】図7で、特性曲線50は、Cバンド補助光を入射する場合の利得特性を示し、特性曲線52は、Cバンド補助光を入射する場合の雑音指数を示す。また、特性曲線54は、Cバンド補助光を入射しない場合の利得特性を示し、特性曲線56は、Cバンド補助光を入射しない場合の雑音指数を示す。図7から、Cバンド補助光を入射する場合、Cバンド補助光を入射しない場合に比べて、利得及び雑音指数が共に、改善されることが分かる。

【0054】EDFFとEDSFを比較すると、次のようなことがいえる。即ち、EDSFを使用する場合、Cバンド補助光の存在下でも、1580nm以下の短波長域で雑音指数が増加するので、利得が向上しても、増幅帯域を1570nm以下に拡張することが難しい。一方、EDFFを使用する場合、1570nm～1600

nmの範囲で雑音指数の顕著な増加が無い。従って、1560～1570nmにおける雑音増加を抑制できれば、1560～1600nmの広帯域Lバンド増幅器を実現できる可能性がある。

【0055】EDFFを使用する場合で、1560～1570nmで雑音指数が増加する要因を調べたところ、それは、目的の波長帯を抽出する光フィルタの特性が不十分であり、中心波長からずれた1550～1570nmにも無視できない強さの光が存在したせいであった。

【0056】補助光として必要なパワーを測定した。その測定結果を図8に示す。補助光の波長は1545nmである。補助光パワーが-30dBmというごく低いパワーのときでも、利得増大効果を確認できた。補助光パワーが-1dBm以上では、利得増大効果が飽和する。即ち、-1dBmという低パワーでも、最大限の効果が得られる。

【0057】本実施例では、Cバンド信号光ScはEDF14を往復して増幅されるので、相対的にEDF14の長さを短く、基本的には半分にできる。EDF22は、Cバンド補助光と励起LD32からの励起光の2波長で励起されるので、高利得及び低雑音でLバンド信号光を増幅できる。

【0058】EDF22は、EDF14で吸収されなかった励起光成分を完全に吸収し、EDF14で生成されるCバンドASE光による誘導放光光によってCバンドASE光を効率よく発生する。すなわち、EDF22は、励起LD32の出力する励起光と、EDF14の発生するCバンドASE光の2波長により励起されることになる。2波長励起によって発生するCバンドASE光の再吸収により、EDF22は、Lバンドの信号光を高い利得及び低雑音で光増幅する。WDM光カップラ20が励起LD30の出力する励起光を透過できる場合、EDF14で吸収されなかった励起光成分を、EDF22の励起に利用できる。これもまた、励起効率の改善に寄与する。

【0059】光アイソレータ24から出力されるCバンド光成分が、光サーキュレータ10のポートCから出力される増幅されたCバンド信号光Scに比べて、十分に弱い場合、光サーキュレータ28及び反射器26の代わりに、より単純な構成の光カップラ又はWDM光カップラを利用できることは明らかである。

【0060】添加材としてエルビウムを使用する実施例を説明したが、勿論、その他の希土類金属を添加してもよい。

【0061】励起LD30、32の代わりに、単一のLDの出力光又は複数のLDの出力光を合波した光を2分割し、それぞれWDM光カップラ12、20に供給する構成を採用することができる。勿論、各LDの発振波長は、励起対象のEDFに応じたものでなければなら

い。

【0062】また、Cバンド補助光がEDF22におけるLバンドの利得を向上するので、EDF14で吸収されなかった励起LD30からの励起光だけでも、EDF22において十分なLバンド増幅利得を確保できる場合がある。そのような場合には、励起LD32及びWDM光カップラ20を省略できる。EDF14に入射する励起光のパワーを上げたければ、単一の励起LD30の代わりに、複数のLDの出力光を合波してWDM光カップラ12に供給する手段を設ければよい。その変更例の概略構成ブロック図を図9に示す。

【0063】図9において、合波器62は、複数の励起LD60の出力光を合波して、WDM光カップラ12に供給する。合波器62が偏光ビームスプリッタの場合、合波器62は2つの励起LDの出力光を直交偏波で合波する。偏光合波を利用しない場合、励起LDの波長を、干渉を生じない程度に相違するものにすればよい。

【0064】図1に示す構成では、励起LD30の出力する励起光の一部をEDF22の励起にも利用する場合、WDM光カップラ20はその励起光を透過できなければならない。即ち、励起LD30の波長とWDM光カップラ20の透過波長との組み合わせで、利用できる励起波長が制限される。これに対し、図9に示す構成では、このような制限が無い。

【0065】光サーキュレータ28及びCバンド反射器26からなる合波器で、増幅されたCバンド光とLバンド光を合波しているが、Cバンド反射器の代わりにLバンド反射器を用いても良い。但し、その場合、増幅されたLバンド信号光と同方向に伝搬するCバンド成分が逆流する可能性がある。

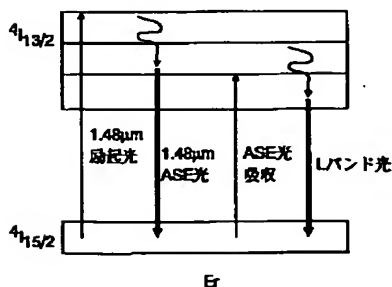
【0066】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、簡単な構成で2つのバンドの信号光を効率良く光増幅できる。しかも、高効率、高利得及び低雑音指数を実現でき、更には、広増幅帯域をも実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の概略構成図である。

【図2】



【図2】 長尺EDFに対するLバンド増幅の原理を説明する図である。

【図3】 ハイパワー励起に対するLバンド増幅の原理を説明する図である。

【図4】 EDFの利得特性及び雑音指数の、長さによる相違の測定結果例である。

【図5】 反射器14の反射波長と図1に示す実施例の利得特性との関係を示す図である。

【図6】 EDFを使用する場合の、利得と雑音指数の波長特性である。

【図7】 EDSFを使用する場合の、利得と雑音指数の波長特性である。

【図8】 補助光パワーと利得の関係を示す図である。

【図9】 変更実施例の概略構成図である。

【符号の説明】

10 : 光サーキュレータ

12 : WDM光カップラ

14 : エルビウム添加光ファイバ (EDF)

16 : Cバンド反射器

18 : 光アイソレータ

20 : WDM光カップラ

22 : エルビウム添加光ファイバ (EDF)

24 : 光アイソレータ

26 : Cバンド反射器

28 : 光サーキュレータ

30, 32 : 励起レーザダイオード

40 : Cバンド補助光が入力する場合の利得特性

42 : Cバンド補助光が入力する場合の雑音指数

44 : Cバンド補助光が入力しない場合の利得特性

46 : Cバンド補助光が入力しない場合の雑音指数

50 : Cバンド補助光が入力する場合の利得特性

52 : Cバンド補助光が入力する場合の雑音指数

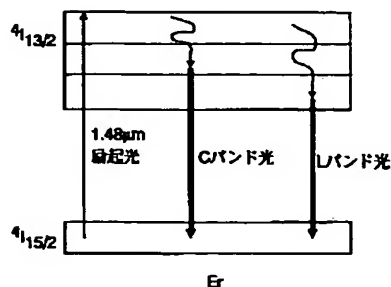
54 : Cバンド補助光が入力しない場合の利得特性

56 : Cバンド補助光が入力しない場合の雑音指数

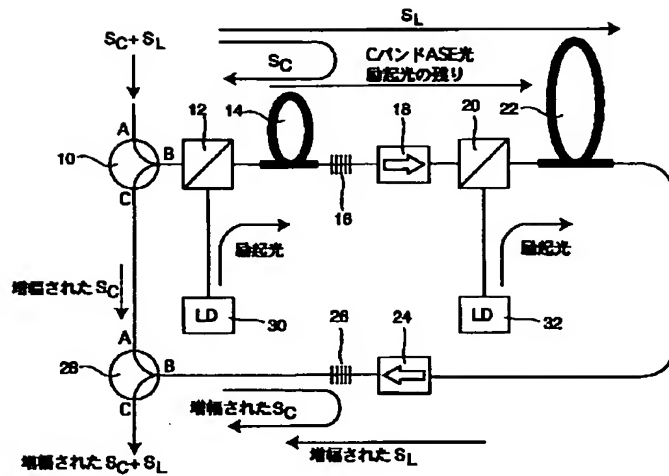
60 : 励起LD

62 : 合波器

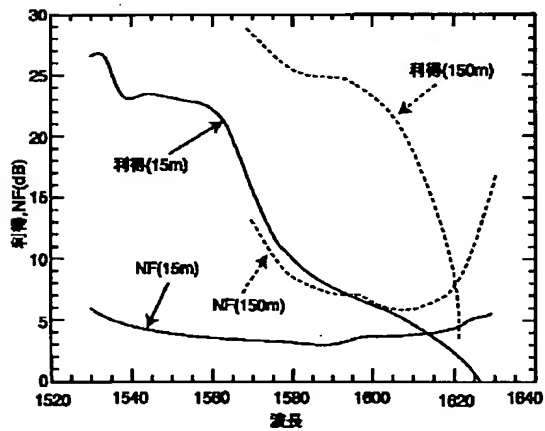
【図3】



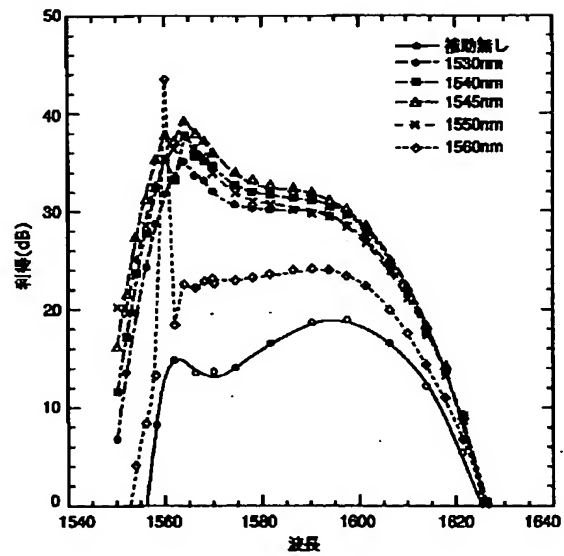
【図1】



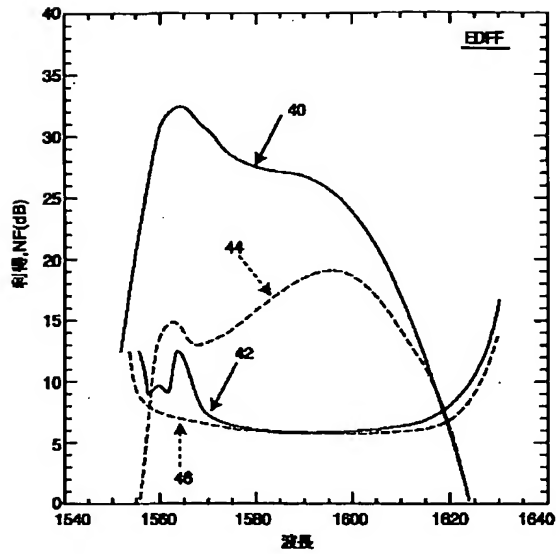
【図4】



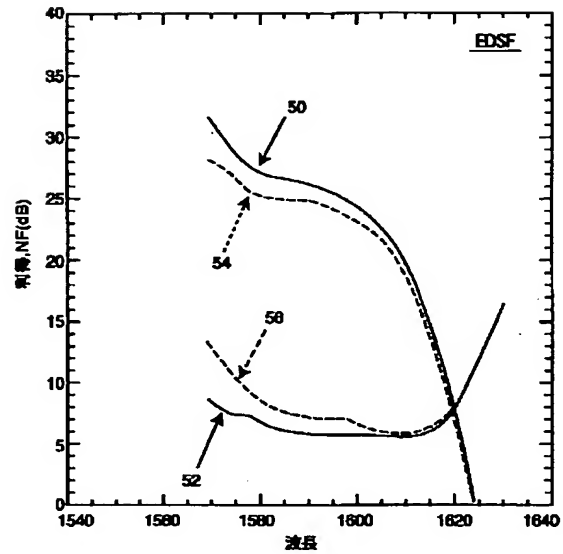
【図5】



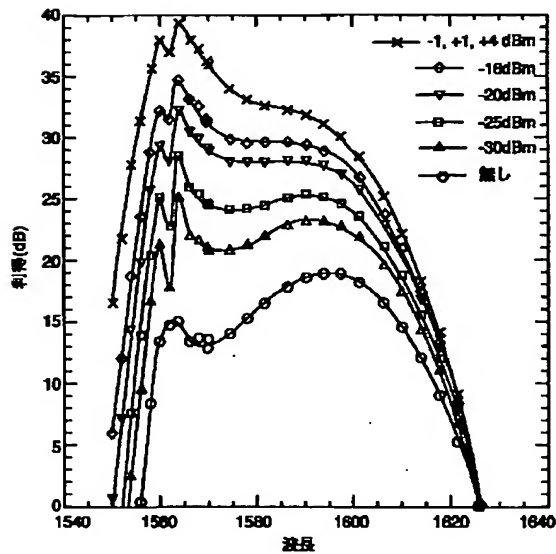
【図6】



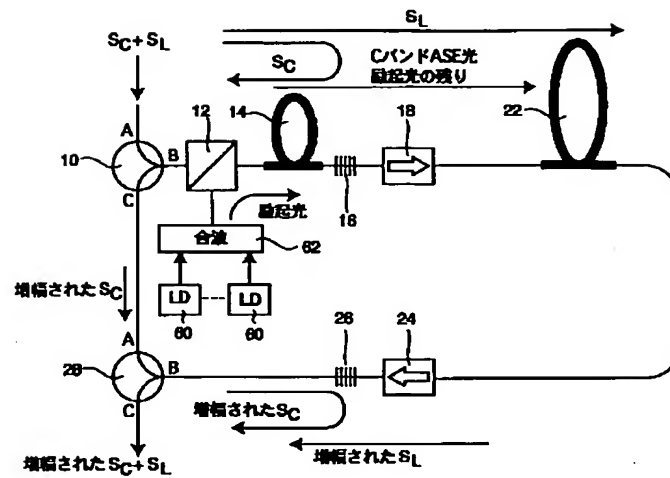
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 4 J 14/02

(72)発明者 堀田 昌克

埼玉県上福岡市大原2丁目1番15号株式会
社ケイディディ研究所

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 JJ02 JJ05 JJ08

KK30 PP07 RR01 YY17

5K002 BA02 BA04 BA05 BA13 BA21

CA13 DA02 FA01